

This Page Is Inserted by IFW Operations
and is not a part of the Official Record

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images may include (but are not limited to):

- BLACK BORDERS
- TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- FADED TEXT
- ILLEGIBLE TEXT
- SKEWED/SLANTED IMAGES
- COLORED PHOTOS
- BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS
- GRAY SCALE DOCUMENTS

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

**As rescanning documents *will not* correct images,
please do not report the images to the
Image Problem Mailbox.**

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 06-003305

(43)Date of publication of application : 11.01.1994

(51)Int.Cl.

G01N 27/02

G01H 13/00

G01N 27/20

(21)Application number : 04-164861

(71)Applicant : MITSUBISHI KASEI CORP
KASEI OPTONIX CO LTD

(22)Date of filing : 23.06.1992

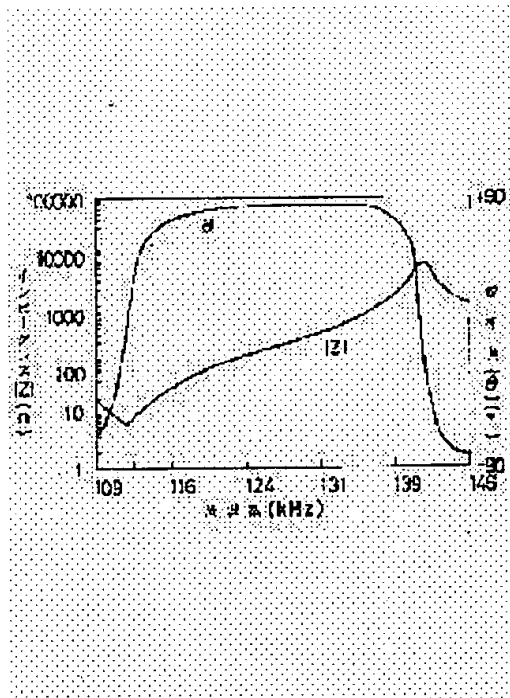
(72)Inventor : SENDA YUKIO
ARAI KUNIHARU
AIHARA HITOSHI

(54) METHOD FOR NON-DESTRUCTIVELY INSPECTING PIEZO-ELECTRIC ELEMENT FOR MICRO-CRACK

(57)Abstract:

PURPOSE: To obtain an method for non-destructively inspecting piezo-electric elements for micro-cracks by which the presence/absence of micro-cracks in a piezo-electric element can be quickly and automatically discriminated with high accuracy.

CONSTITUTION: The frequency characteristics of the phase difference (phase angle) between the frequency characteristic and/or voltage and current of the impedance of a piezo-electric element is measured and the curve pattern indicating the measured frequency characteristics is compared with the curve pattern of the element which is used as a reference and, when both curve patterns are different from each other, it is discriminated that micro-cracks exist in the element. Since the presence of the micro-cracks can be discriminated automatically, the discrimination can be performed in a short time and mass processing become possible. In addition, the inspection accuracy becomes extremely higher, since no visual inspection is performed.



LEGAL STATUS

(19)日本国特許庁(JP)

(12)公開特許公報(A)

(11)特許出願公開番号

特開平6-3305

(43)公開日 平成6年(1994)1月11日

(51)Int.Cl. ⁵	識別記号	庁内整理番号	FI	技術表示箇所
G 0 1 N 27/02	Z	7414-2 J		
G 0 1 H 13/00		8117-2 G		
G 0 1 N 27/20	Z	7414-2 J		

審査請求 未請求 請求項の数3(全 9 頁)

(21)出願番号 特願平4-164861
(22)出願日 平成4年(1992)6月23日

(71)出願人 000005968
三菱化成株式会社
東京都千代田区丸の内二丁目5番2号
(71)出願人 390019976
化成オプトニクス株式会社
東京都港区芝大門2丁目12番7号
(72)発明者 千田 幸雄
神奈川県横浜市緑区鶴志田町1000番地 三
菱化成株式会社総合研究所内
(72)発明者 荒井 邦晴
神奈川県横浜市緑区鶴志田町1000番地 三
菱化成株式会社総合研究所内
(74)代理人 弁理士 重野 剛

最終頁に続く

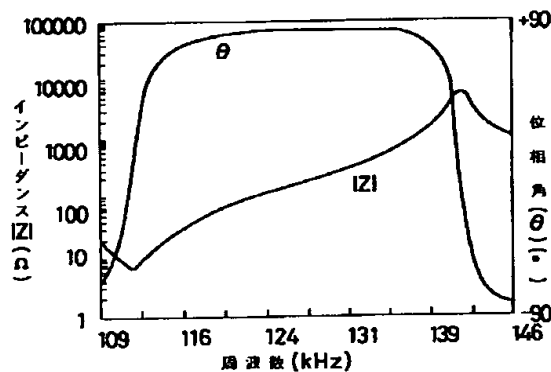
(54)【発明の名称】 圧電素子のマイクロクラックの非破壊的検査法

(57)【要約】

【目的】 圧電セラミックのマイクロクラックの有無を、迅速かつ高精度に、自動判定する圧電素子のマイクロクラックの非破壊的検査法を提供する。

【構成】 圧電素子のインピーダンスの周波数特性及び／又は電圧と電流との位相差(位相角)の周波数特性を測定し、この周波数特性を示す曲線パターンを基準となる素子の曲線パターンと比較し、両曲線パターンが異なる場合、当該圧電素子にマイクロクラックが存在すると判定する。

【効果】 自動判定が可能であるため、短時間で判定することができ、大量処理化が可能な上に、目視による判定ではないため、検査精度が著しく高い。



1

【特許請求の範囲】

【請求項1】 交番的な電圧の印加に伴って振動する圧電素子の共振周波数ないし反共振周波数近傍の周波数帯において、一定の幅で段階的に周波数を変化させた一定電圧を、被検圧電素子とマイクロクラックのない基準圧電素子とのそれぞれに印加し、各圧電素子のインピーダンスの周波数特性及び／又は電圧と電流との位相差（位相角）の周波数特性を測定し、当該周波数特性を示す曲線パターンを得、被検圧電素子の曲線パターンと基準圧電素子の曲線パターンとを比較し、両曲線パターンが異なる場合に、該被検圧電素子内部にマイクロクラックが存在すると判定することを特徴とする圧電素子のマイクロクラックの非破壊的検査法。

【請求項2】 交番的な電圧の印加に伴って振動する圧電素子の共振周波数ないし反共振周波数近傍の周波数帯において、一定の幅で段階的に周波数を変化させた一定電圧を、被検圧電素子に印加し、該圧電素子電圧と電流との位相差（位相角）の周波数特性を測定し、当該周波数特性を示す曲線の曲率を示すパターンについて、あるしきい値（TL）を超えるピークの数調べ、測定開始周波数から共振周波数より当該共振周波数の3～10%高い周波数までの周波数帯（以下「第1領域」と称す。）と、反共振周波数より当該反共振周波数の3～10%低い周波数から測定終了周波数までの周波数帯（以下「第2領域」と称す。）と、この第1領域と第2領域との間になる、共振周波数より当該共振周波数の3～10%高い周波数から反共振周波数より当該反共振周波数の3～10%低い周波数までの周波数帯（以下「中間領域」と称す。）とにおいて、

第1領域及び第2領域では前記ピーク数が1又は2個、中間領域においては前記ピーク数が0個であることを基準とし、この基準のピーク数とは異なるピーク数を示す曲率パターンを持つ被検圧電素子について、マイクロクラックが存在すると判定することを特徴とする圧電素子のマイクロクラックの非破壊的検査法。

【請求項3】 電流と電圧の位相差（位相角）の各測定値の移動平均によって得られた数値から、該位相差（位相角）の周波数特性を示す曲線パターンの曲率を求めることを特徴とする請求項2に記載の圧電素子のマイクロクラックの非破壊的検査法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】 本発明は圧電セラミック中のマイクロクラックの有無を、当該圧電セラミックを破壊することなく検査する方法に関する。

【0002】

【従来の技術】 従来、圧電セラミックに限らず、一般的なセラミックスなどの内部欠陥を、当該セラミックスを破壊することなく、即ち、非破壊的に検出する方法とし

2

ては、X線透過によるもの、或いは、超音波を照射する方法などが一般的である。

【0003】 X線を透過させて内部の状態を検出する方法は、X線が被検査物を透過する度合いが、当該被検体物質の種類、厚さ及び密度によって変化することを利用し、透過してきたX線強度の変化を計測することにより、内部の欠陥を調べる方法である。

【0004】 一方、超音波を用いる方法としては、被検査物を水中に入れて超音波を照射したときの、被検体物質の種類によって異なる音響インピーダンスの違いによる反射、或いは音速の違いを利用し、被検査物中の材質の違い、及び位置の違いによる超音波の反射量及び反射時間を計測することにより、内部の欠陥を調べることが通常行なわれている。

【0005】

【発明が解決しようとする課題】 上記従来の非破壊的検査方法は、いずれも大型で高価な装置が必要である上に、処理時間も比較的長く、大量処理するには不適当である。また、得られた測定画像から微少な欠陥を識別するには、これを拡大して人間が目視で判断するか、コンピュータによる画像解析などを行なう必要があり、いずれの場合も、自動化を行なって大量に処理するには適当ではないという欠点もあった。

【0006】 特に、圧電セラミック中の欠陥の検出の場合には、このような欠陥は極めて重大な問題となる。即ち、圧電セラミックは、大量に処理する必要があり、しかも短時間に、信頼性の高い検査結果を得る必要があることから、上記従来法のように、短時間での大量処理が困難で、しかも、目視、画像処理などの視覚による欠陥識別判定のために、見落としや検査実施者間の違いによる判定誤差の可能性が大きく、信頼性の高い検査結果が得られない方法では、圧電セラミックの検査方法として不適当である。

【0007】 本発明は、上記従来の問題点を解決し、圧電セラミックの内部欠陥、即ちマイクロクラックの有無を、迅速にかつ高精度に、しかも自動判定にて検査することができる圧電素子のマイクロクラックの非破壊的検査法を提供することを目的とする。

【0008】

【課題を解決するための手段】 請求項1の圧電素子のマイクロクラックの非破壊的検査法は、交番的な電圧の印加に伴って振動する圧電素子の共振周波数ないし反共振周波数近傍の周波数帯において、一定の幅で段階的に周波数を変化させた一定電圧を、被検圧電素子とマイクロクラックのない基準圧電素子とのそれぞれに印加し、各圧電素子のインピーダンスの周波数特性及び／又は電圧と電流との位相差（位相角）の周波数特性を測定し、当該周波数特性を示す曲線パターンを得、被検圧電素子の曲線パターンと基準圧電素子の曲線パターンとを比較し、両曲線パターンが異なる場合に、該被検圧電素子内

10

20

30

40

50

部にマイクロクラックが存在すると判定することを特徴とする。

【0009】請求項2の圧電素子のマイクロクラックの非破壊的検査法は、交替的な電圧の印加に伴って振動する圧電素子の共振周波数ないし反共振周波数近傍の周波数帯において、一定の幅で段階的に周波数を変化させた一定電圧を、被検圧電素子に印加し、該圧電素子電圧と電流との位相差（位相角）の周波数特性を測定し、当該周波数特性を示す曲線の曲率を示すパターンについて、あるしきい値（TL）を超えるピークの数を調べ、測定開始周波数から共振周波数より当該共振周波数の3～10%高い周波数までの周波数帯（以下「第1領域」と称す。）と、反共振周波数より当該反共振周波数の3～10%低い周波数から測定終了周波数までの周波数帯（以下「第2領域」と称す。）と、この第1領域と第2領域との間になる、共振周波数より当該共振周波数の3～10%高い周波数から反共振周波数より当該反共振周波数の3～10%低い周波数までの周波数帯（以下「中間領域」と称す。）とにおいて、第1領域及び第2領域では前記ピーク数が1又は2個、中間領域においては前記ピーク数が0個であることを基準とし、この基準のピーク数とは異なるピーク数を示す曲率パターンを持つ被検圧電素子について、マイクロクラックが存在すると判定することを特徴とする。

【0010】請求項3の圧電素子のマイクロクラックの非破壊的検査法は、請求項2の方法において、電流と電圧の位相差（位相角）の各測定値の移動平均によって得られた数値から、該位相差（位相角）の周波数特性を示す曲線パターンの曲率を求めることを特徴とする。

【0011】

【作用】本発明の圧電素子のマイクロクラックの非破壊的検査法は、自動判定が可能であるため、短時間で判定することができ、大量処理化が可能な上に、目視による判定ではないため、検査精度が著しく高い。

【0012】以下、図面を参照して本発明による検査機構について詳細に説明する。

【0013】図1は、基準となる、即ち内部にマイクロクラックなどのない正常な円板状の圧電素子（正常素子）のインピーダンスと、電流と電圧の位相差（位相角）の周波数特性を示す線図である。この共振は、円板の広がり振動の一次共振である。図1に示すように、インピーダンスの周波数特性は極小値と極大値をそれぞれ一つずつ持つ。インピーダンスが極小となる周波数を共振周波数（共振点）、極大となる周波数を反共振周波数（反共振点）と呼ぶ。共振点、反共振点は素子の大きさ、材質が決まれば一義的に決まるが、通常、形状のばらつき、素子特性のばらつきに応じて変動する。一方、位相角は共振周波数より低い周波数では、電流が電圧より約90°（即ち、-90°）遅れており、共振周波数から反共振周波数の間では、逆に約90°（即ち、+9

0°）進み、また、反共振周波数より高い周波数ではまた約90°遅れの位相に戻る。即ち、位相角の共振点近傍の周波数特性を示す曲線は、共振点と反共振点との間に一つの山を持つのみである。

【0014】図2は基準となる圧電素子と同形状、同材質で内部にマイクロクラックを持つ圧電素子（異常素子）の、インピーダンスと、電流と電圧の位相差（位相角）の図1と同様の円板の広がり振動の一次共振点～反共振点近傍の周波数帯における周波数特性を示す線図である。図2に示すように、インピーダンスと位相角の周波数特性は、図1のものに比べて、非常に乱れた形を示す。即ち、インピーダンスの周波数特性を示す曲線は、多くの、極小値と極大値を持ち、また、位相角の周波数特性は多数の山を持っていることを示し、基準となる図1の各周波数依存性とは明らかに大きく異なり、従って、この違いから異常を判別できる。

【0015】本発明において、このような判定に用いる共振は、高次の共振を用いても同様な判定は可能であるが、インピーダンスの変化、或いは位相角の変化が小さくなること、また不要振動の混入など、正確な判定ができない場合があるので、一次の基本共振を用いることが好ましい。

【0016】また、共振周波数は素子の形状と、使用する振動モードによって異なるが、判定に用いる振動は、形状によって規定される振動が、最も明瞭に、かつ、大きくなる振動モードを用いることが同様な理由で好ましい。例えば、円板形状の素子であれば、円板の広がり振動、棒状形状の素子であれば、棒の縦振動などが用いられる。

【0017】また、測定範囲は必要とする共振点と反共振点が一組のみ、測定範囲内に入っていれば、どの範囲で測定してもかまわないが、通常、測定効率の面から、測定開始周波数は、共振周波数より、当該共振周波数の3～10%低い周波数とし、測定終了周波数は、反共振周波数より、当該反共振周波数の3～10%高い周波数とするのが好ましい。

【0018】圧電素子のインピーダンス及び位相角の周波数特性を測定するには、通常、インピーダンスアナライザが用いられるのが一般的である。この装置を用いて、一定の周波数を段階的に変化させる幅としては、より細かい幅で変化させることが滑らかな曲線を得る上では好ましいが、測定効率、或いは測定装置仕様の制約の面から、通常0.05～1kHzの幅で変化させるのが実用的である。また、印加される電圧の大きさは、通常1Vが使われる。

【0019】本発明の方法は、その他、アドミッタンスを用いても同様に実施できる。但し、アドミッタンスの周波数特性はアドミッタンスがインピーダンスの逆数であることから、上記とは逆に、共振点でアドミッタンスは極大となり、反共振点で極小となることのみ相違する

が、基準となるパターンを同様に比較すれば判別は可能である。

【0020】次に、本発明を自動判定にて実施する方法について詳細に説明する。

【0021】インピーダンスアナライザを用いる場合、信号をデジタル処理する必要から、測定する周波数はステップワイズに変化させ、各周波数での圧電素子のインピーダンス、位相角をそれぞれ測定し、目的の周波数まで順次増加させる。即ち、測定を開始する周波数を x_0 とし、周波数の増加分を Δx とすれば、 i 番目の周波数 $x(i)$ は

$$x(i) = x_0 + (i-1) \cdot \Delta x$$

なる式によって計算できる。この時、移動平均に用いる、データの数 L の値は、人間による判定と自動判定が良く一致するように、状況に応じ適宜決められるが、本実施例では通常は3〜7個、好ましくは5〜7個が用いられる。このデータの数が3個より少ないと観測ノイズの影響を除去できず、正常素子が異常素子と判定される量が増え、歩留りの低下を来す。但し、この場合は安全サイドで、異常素子の除去の面については問題ない。また、データの数が5個より多ければ、正答率はほぼ100%となる。一方、データの数が7個より多いと逆に異常品が正常品と判定される場合が起き、好ましくない。

※

$$\begin{aligned} a &= \{ (x_1^2 - x_2^2) (y_1 - y_2) - (x_1^2 - x_3^2) (y_1 - y_3) \} \\ &\quad / 2 \{ (x_1 - x_2) (y_1 - y_3) - (x_1 - x_3) (y_1 - y_2) \} \\ b &= \{ (x_1^2 - x_2^2) - 2a(x_1 - x_2) \} / 2(y_1 - y_2) \\ \rho(j) &= 1/r = 1/\sqrt{\{(x_2 - a)^2 + (y_2 - b)^2\}} \end{aligned}$$

ただし、 $x_1 = x(j-1)$ 、 $x_2 = x(j)$ 、 $x_3 = x(j+1)$ 、 $y_1 = y'(j-1)$ 、 $y_2 = y'(j)$ 、 $y_3 = y'(j+1)$ である。

【0024】次に $(x(j), \rho(j))$ によって得られた曲線の曲率を表す曲線パターンのピークの数を求める。この時、測定周波数帯を次の複数の領域に分割しそれぞれの領域における曲率を示すパターンのピークの数を求める。

【0025】複数の領域は、基本的には、測定開始周波数から共振周波数前後の位相角が遅れ位相から進み位相に変化し、進み位相で安定するまでの第1の領域と、反共振周波数前後の位相角が進み位相から再び遅れ位相に戻り、元の遅れ位相で安定してから測定終了周波数までの第2の領域と、これら第1及び第2の領域の間の周波数帯の中間領域とである。具体的には、測定開始周波数から共振周波数よりも当該共振周波数の3〜10%高い周波数帯までの周波数帯(第1領域)、反共振周波数よりも当該反共振周波数の3〜10%低い周波数から測定終了周波数までの周波数帯(第2領域)、及びこの2つの間に相当する、共振周波数よりも当該共振周波数の3〜10%高い周波数から反共振周波数よりも当該反共振周波数よりも3〜10%低い周波数までの周波数帯(中★50

* 波数 $x(i)$ は

$$x(i) = x_0 + (i-1) \cdot \Delta x$$

で表せられる。また、各 $x(i)$ における位相角の測定値を $y(i)$ とすれば、測定値として $(x(i), y(i))$ なる組み合わせのデータが、測定周波数帯と周波数の増加分に対応した数だけ得られる。このようにして得られた $y(i)$ のデータは観測ノイズを含むので、この観測ノイズの影響を除去するために次に示すような移動平均処理を行なう。各 $y(i)$ に対して得られる移動平均値を $y'(i)$ とすれば、 $y'(i)$ は

※【0022】次にこの移動平均値によって得られた曲線に対し、各部分の曲率を計算する。連続する3点、即ち $i=j-1, j, j+1 (j \geq 2)$ において $\{x(j-1), y'(j-1)\}, \{x(j), y'(j)\}, \{x(j+1), y'(j+1)\}$ の3点に対し二次曲線を当てはめる。即ち

$$(X-a)^2 + (Y-b)^2 = r^2$$

で表される円の半径 r の逆数 $1/r$ がこの3点によって作られる曲線の曲率である。この式から曲率 $\rho(j)$ を求めると以下ようになる。

【0023】

※

$$\begin{aligned} a &= \{ (x_1^2 - x_2^2) (y_1 - y_2) - (x_1^2 - x_3^2) (y_1 - y_3) \} \\ &\quad / 2 \{ (x_1 - x_2) (y_1 - y_3) - (x_1 - x_3) (y_1 - y_2) \} \\ b &= \{ (x_1^2 - x_2^2) - 2a(x_1 - x_2) \} / 2(y_1 - y_2) \\ \rho(j) &= 1/r = 1/\sqrt{\{(x_2 - a)^2 + (y_2 - b)^2\}} \end{aligned}$$

★中間領域)の3つの領域に大別される。

【0026】上記中間領域は更に細かく分割させても良い。この分割数が多ければ判定精度の向上が期待されるだけでなく、例えば、異常がどの周波数帯で多く発生しているかなどの情報を得ることもできる。

【0027】ただし、必須なのは上記第1領域と第2領域であり、中間領域を設けなくても良い。例えば、中間領域を無くし、全体を第1と第2の2つに分割しても良い。中間領域を更に細かく分割するか、或いは、中間領域を省略するかは、測定後のデータ処理上の必要性から適宜決定される。

【0028】ピークの数、あるしきい値(TL)を超えたピークのみを数えて求める。しきい値(TL)を超えたピーク数は、基準となる、即ち、マイクロクラックなどが無い正常な素子の場合、第1及び第2の領域では1又は2個のピークを持ち、中間領域ではピークは持たない。これ以外のピークの数を持つ場合は、クラックなどが有するという異常素子として判定される。

【0029】ここで、あるしきい値とは、移動平均に用いるデータの数 L と同様に、人間による判定と自動判定が良く一致するように、状況に応じて適宜決められるが、本発明では、得られた全 $\rho(j)$ の値の平均値、即ち

【0030】

* * 【数1】

$$\left\{ \sum_{j=2}^{N-L} \rho(j) \right\} / (N-L-1) \quad (N \text{ は全測定数})$$

【0031】で計算される値の50～100%、好ましくは70～100%をTLとするのが好適である。この全 $\rho(i)$ の平均値の50%より小さい値をTLとした場合、観測データのノイズの影響を拾い易く判定精度の低下を来す。しかしこの場合は、正常素子を異常素子と判定するだけであるので、安全サイドで異常素子の除去には問題がない。全 $\rho(i)$ の平均値の70%より大

【0032】

【実施例】次に具体的な実施例を挙げて、本発明をより詳細に説明する。

【0033】実施例1

直径17mm、厚さ0.5mmでPb、Zr、Tiの酸化物を主成分とする圧電素子を用い、マイクロクラックの検出を行なった。電極は電極部分が直径15mmとなるように、銀ペーストを印刷、乾燥後、600℃で焼き付け、70℃で1000Vを印加して分極し、圧電体とした。また、素子の周波数依存性はインピーダンスアナライザー(YHP4192A)を用いて測定した。測定周波数は109kHzから146kHzで、0.3kHzステップで測定した。得られた素子のインピーダンス※

※と位相角の周波数特性を、図1に示す。測定された共振及び反共振周波数は各素子によって若干異なるが、それぞれ111～115kHz(最頻値113kHz)、139～143kHz(最頻値141kHz)であり、また、この周波数の範囲外に共振点、反共振点を持つ素子は除外した。図1は基準となる、マイクロクラックなどが無い正常な素子の測定例であり、図2はマイクロクラックなどがあると考えられる異常素子の測定例である。図3に、故意にクラックを入れた素子の測定例を示す。図2と図3は同様な周波数特性のパターンを示し、図2の異常素子中にクラックが入っていることを示している。

【0034】表1にこの様にして、マイクロクラックがあると判定された異常素子と、正常と判定された素子の曲げ強さを測定した結果を示す。曲げ強さは、インピーダンス、位相角の周波数特性を測定した後の素子を、3点曲げ強度試験機に置き、素子の中央部を折り曲げ、その時の荷重の値を曲げ強さとして求めた。表1からも明らかにように、マイクロクラック有り判定された異常素子は、正常と判定された素子の約半分の強度しか持たず、本検査法の妥当性を示している。

【0035】

【表1】

項 目	正常素子	異常素子
曲げ強さ	2.6kgf	1.2kgf
標準偏差	0.3kgf	0.5kgf
測定枚数	20枚	20枚

【0036】実施例2

実施例1で行なった判定を自動で行なうために、前述したアルゴリズムに基づき、プログラムを作成し、インピーダンス及び位相角の測定と自動判定を行なった。測定装置としては、インピーダンス/ゲインフェイズアナライザー(YHP4194A)を用い、測定条件としては実施例1に用いた同じ形状、材質の素子を用い、110～150kHz、0.03kHzステップで周波数を変化させた。

【0037】移動平均に用いたデータ数はL=5個、しきい値(TL)は曲率の全平均値(即ち全 $\rho(i)$ の平均値の100%)とし、また全測定領域を次のように4つに分割した。

【0038】

第1領域 : 110～120kHz

第1中間領域: 120～130kHz

★第2中間領域: 130～140kHz

第2領域 : 140～150kHz

共振周波数、反共振周波数(最頻値)はそれぞれ114、144kHzであった。図4に測定したインピーダンス及び位相角の周波数特性を示す原パターンを、図5には図4に示した位相角の周波数特性から計算された曲率の周波数特性を示すパターンをそれぞれ示す。図4に示す例は、図中矢印Aの部分がわずかにへこんでいる。このへこみは、人間の目でやっと判定できる程度の非常に小さい変化であるが、本発明に係る自動判定法で行なうと、図5中の矢印Bに示すように明瞭なピークとなり容易に検知される。

【0039】正常と判定する基準は、前述の如く、TLを超えたピークの数、第1、第1中間、第2中間、第2領域の各領域に、それぞれ、1又は2個、0個、0

★50 個、1又は2個である。

【0040】次に、実施例1で判定を実施した素子、即ち人間が周波数特性のパターンを基準となる正常な素子のパターンと見比べて判定して、正常と判定した素子100枚と、異常と判定した素子100枚の自動判定を実施した結果を表2、3に示す。

正常と判定した素子

No.	ピーク数(個)					判定
	第1領域	第1中間領域	第2中間領域	第2領域	総数	
1	2	1	0	1	4	※
2	2	0	0	1	3	※
3	2	0	0	2	4	※
4	2	0	0	1	3	※
5	2	0	0	1	3	※
6	2	0	0	2	4	※
7	2	0	0	2	4	※
8	2	0	0	1	3	※
9	2	0	0	2	4	※
10	2	0	0	2	4	※
11	2	0	0	1	3	※
12	2	0	0	2	4	※
13	2	0	0	2	4	※
14	2	0	0	2	4	※
15	2	0	0	1	3	※
16	2	0	0	1	3	※
17	2	0	0	2	4	※
18	2	0	0	2	4	※
19	2	0	0	1	3	※
20	2	0	0	1	3	※
21	2	0	0	2	4	※
22	2	0	0	1	3	※
23	2	0	0	1	3	※
24	2	0	0	1	3	※
25	2	0	0	1	3	※
26	2	0	0	1	3	※
27	2	0	0	1	3	※
28	2	0	0	1	3	※
29	2	0	0	2	4	※
30	2	0	0	2	4	※
31	2	0	0	1	3	※
32	2	0	0	1	3	※
33	2	0	0	2	4	※
34	2	0	0	2	4	※
35	2	0	0	2	4	※
36	2	0	0	1	3	※
37	2	0	0	1	3	※
38	2	0	0	1	3	※
39	2	0	0	1	3	※
40	2	0	0	1	3	※
41	2	0	0	1	3	※
42	2	0	0	2	4	※
43	2	0	0	1	3	※
44	2	0	0	2	4	※
45	2	0	0	1	3	※
46	2	0	0	1	3	※
47	2	0	0	1	3	※
48	2	0	0	1	3	※
49	2	0	0	1	3	※
50	2	0	0	1	3	※

*【0041】なお、表2、3中、※は判定が一致したものである。

【0042】

【表2】

No.	ピーク数(個)					判定
	第1領域	第1中間領域	第2中間領域	第2領域	総数	
51	2	0	0	1	3	※
52	2	0	0	1	3	※
53	2	0	0	2	4	※
54	2	0	0	1	3	※
55	2	0	0	1	3	※
56	2	0	0	2	4	※
57	2	0	0	1	3	※
58	2	0	0	1	3	※
59	2	0	0	1	3	※
60	2	0	0	2	4	※
61	2	0	0	1	3	※
62	2	0	0	1	3	※
63	2	0	0	1	3	※
64	2	0	0	2	4	※
65	2	0	0	2	4	※
66	2	0	0	2	4	※
67	2	0	0	2	4	※
68	2	0	0	2	4	※
69	2	0	0	2	4	※
70	2	0	0	2	4	※
71	2	0	0	2	4	※
72	2	0	0	2	4	※
73	2	0	0	1	3	※
74	2	0	0	1	3	※
75	2	0	0	2	4	※
76	2	0	0	1	3	※
77	2	0	0	2	4	※
78	2	0	0	1	3	※
79	2	0	0	1	3	※
80	2	0	0	2	4	※
81	2	0	0	1	3	※
82	2	0	0	1	3	※
83	2	0	0	2	4	※
84	2	0	0	1	3	※
85	2	0	0	1	3	※
86	2	0	0	1	3	※
87	2	0	0	2	4	※
88	2	0	0	2	4	※
89	2	0	0	1	3	※
90	2	0	0	1	3	※
91	2	0	0	2	4	※
92	2	0	0	2	4	※
93	2	0	0	2	4	※
94	2	0	0	1	3	※
95	2	0	0	1	3	※
96	2	0	0	1	3	※
97	2	0	0	1	3	※
98	2	0	0	1	3	※
99	2	0	0	2	4	※
100	2	0	0	2	4	※

【0043】

※ ※【表3】

11

異常と判定した素子

No.	ピーク数(個)					判定
	第1領域	第1中間領域	第2中間領域	第2領域	総数	
1	3	1	0	3	7	※
2	4	0	0	1	5	※
3	2	0	0	4	6	※
4	6	2	2	1	11	※
5	3	1	3	2	9	※
6	3	2	0	4	9	※
7	4	0	0	1	5	※
8	3	0	0	3	6	※
9	2	1	0	3	6	※
10	3	4	0	1	8	※
11	3	0	4	1	8	※
12	6	4	0	0	10	※
13	3	0	1	1	5	※
14	4	3	0	1	8	※
15	4	0	1	1	6	※
16	2	1	2	1	6	※
17	2	2	1	1	6	※
18	4	0	1	1	6	※
19	4	0	0	2	6	※
20	4	0	2	2	8	※
21	6	1	2	3	12	※
22	3	0	2	2	7	※
23	6	5	0	0	11	※
24	5	1	2	1	9	※
25	5	1	2	1	9	※
26	5	1	2	1	9	※
27	3	4	0	1	8	※
28	6	0	2	2	10	※
29	4	0	3	1	8	※
30	2	3	2	1	8	※
31	4	0	0	2	6	※
32	4	1	3	2	10	※
33	5	0	2	0	7	※
34	4	1	2	1	8	※
35	3	4	1	4	12	※
36	4	0	1	1	6	※
37	3	0	0	2	5	※
38	4	0	3	1	8	※
39	3	0	3	1	7	※
40	3	0	0	2	5	※
41	4	0	3	2	9	※
42	5	1	0	2	8	※
43	2	0	4	2	8	※
44	5	0	2	1	8	※
45	3	1	3	2	9	※
46	2	1	1	2	6	※
47	5	1	2	0	8	※
48	4	0	1	2	7	※
49	4	2	2	0	8	※
50	3	1	2	2	8	※

12

No.	ピーク数(個)					判定
	第1領域	第1中間領域	第2中間領域	第2領域	総数	
51	2	1	1	0	4	※
52	2	1	0	2	5	※
53	3	0	0	3	6	※
54	3	0	1	3	7	※
55	2	3	0	2	7	※
56	3	1	3	2	9	※
57	4	1	0	2	7	※
58	2	2	1	0	5	※
59	5	2	1	0	8	※
60	3	3	1	3	10	※
61	5	0	2	0	7	※
62	2	0	1	3	6	※
63	4	1	5	1	11	※
64	2	1	1	3	7	※
65	4	0	4	2	10	※
66	5	1	2	3	11	※
67	4	0	1	0	5	※
68	5	5	0	0	10	※
69	4	0	3	2	9	※
70	2	0	2	2	6	※
71	5	3	2	2	10	※
72	4	0	2	2	8	※
73	5	0	4	0	9	※
74	4	0	3	1	8	※
75	4	0	3	4	11	※
76	3	0	1	1	5	※
77	3	1	0	3	7	※
78	5	3	0	0	8	※
79	3	1	0	3	7	※
80	3	0	3	2	8	※
81	3	0	1	2	6	※
82	2	0	1	3	6	※
83	4	0	2	2	8	※
84	4	1	1	2	8	※
85	4	1	3	2	10	※
86	6	6	1	1	14	※
87	6	4	2	0	12	※
88	6	4	0	0	10	※
89	2	1	2	2	7	※
90	4	1	0	1	6	※
91	3	0	1	2	6	※
92	2	3	1	2	8	※
93	4	0	5	2	11	※
94	3	0	3	3	9	※
95	4	0	3	1	8	※
96	5	1	1	1	8	※
97	4	0	2	1	7	※
98	3	0	0	4	7	※
99	4	2	0	5	11	※
100	3	0	0	3	6	※

【0044】表2, 3から明らかなように、正答率は正常素子では99%であり、異常素子では100%であることが判り、本自動判定の妥当性が示されている。

【0045】但し、正答率とは、人間が正常/異常と判定した素子各100枚を本方法で自動判定し、人間の判定を正しいとした場合、人間の判定と自動判定とが一致したときを正答とした。

*【0046】実施例3～5

実施例2で使用した、各100枚の正常、異常素子を用い、自動判定を行なう際に用いたパラメータのうち、移動平均に用いたデータの数を $L=2$ （実施例3）、4（実施例4）、8（実施例5）とし、しきい値 TL を曲率の全平均値の100%にして、他のパラメータは実施例2と同じにして自動判定を行なった結果を表4に示

* 50

す。

【0047】実施例6～8

実施例2で使用した、各100枚の正常、異常素子を用い、自動判定を行なう際に用いたパラメータのうち、移動平均に用いたデータの数をL=5とし、しきい値TLを曲率の全平均値の110（実施例6）、70（実施例7）、50（実施例8）%にして、他のパラメータは実*

* 施例2と同じにして自動判定を行なった結果を表4に示す。

【0048】なお、表4には、実施例2の結果をあわせて記す。

【0049】

【表4】

実施例	判 定 条 件		正 答 率 (%)		判 定 ※
	L	TL (%)	正常品	異常品	
2	5	100	99	100	◎
3	2	100	0	100	×
4	4	100	80	100	○
5	8	100	100	92	×
6	5	110	100	95	×
7	5	70	99	100	◎
8	5	50	94	100	○

※ 判定とは×は適用不可、○は適用可、◎は最適な条件であることを示す。

【0050】表4より、Lは3～7、特に5～7が、TLは曲率の全平均値の50～100%、特に70～100%が好ましいことが明らかである。

【0051】

【発明の効果】以上詳述した通り、本発明の圧電素子のマイクロクラックの非破壊的検査法によれば、圧電素子のマイクロクラックの有無を、短時間で容易かつ効率的に、しかも高精度に自動判定することができ、容易に大量処理することが可能とされる。

【0052】特に、請求項2、とりわけ請求項3の方法によれば、自動判定を容易に実施して、精度の良い結果を確実に得ることができる。

【図面の簡単な説明】

※40

※【図1】基準となる正常素子のインピーダンス及び位相角の周波数依存性を示す線図である。

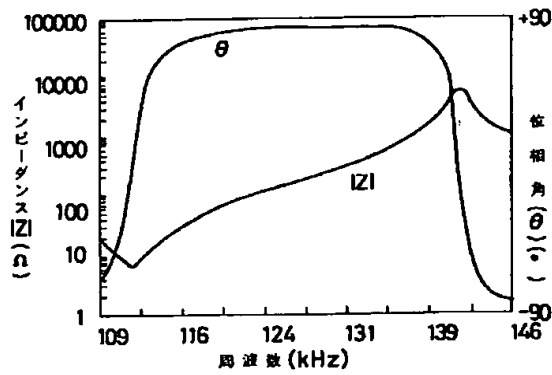
30 【図2】マイクロクラックがあると判定された異常素子のインピーダンス及び位相角の周波数依存性を示す線図である。

【図3】正常な素子に故意にクラックを入れた素子のインピーダンス及び位相角の周波数依存性を示す線図である。

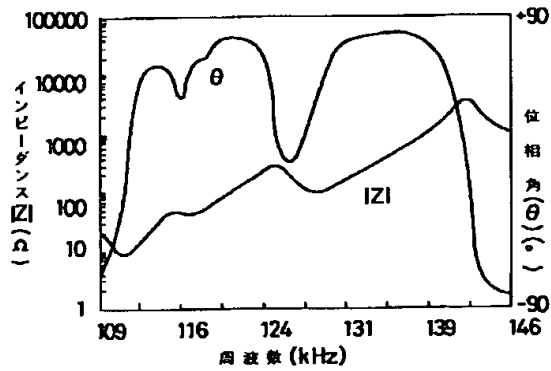
【図4】自動判定に使用したインピーダンスと位相角の周波数依存性を示す原パターン線図である。

【図5】原パターンを用いて計算された、位相角曲線の曲率を示すパターン線図である。

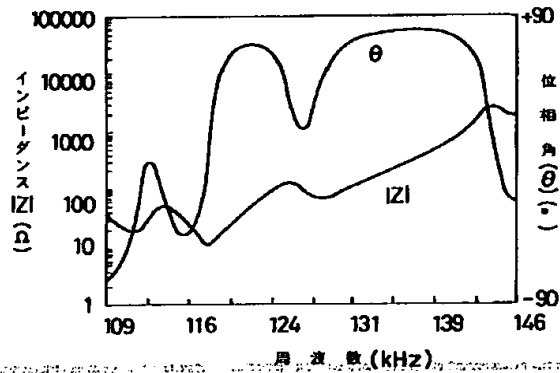
【図1】



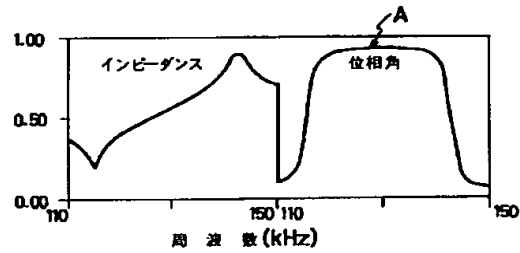
【図2】



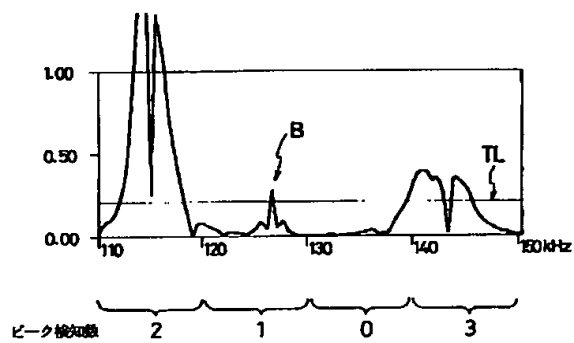
【図3】



【図4】



【図5】



フロントページの続き

(72)発明者 相原 仁志
神奈川県小田原市成田1060番地 化成オブ
トニクス株式会社小田原工場内

DETAILED DESCRIPTION

[Detailed Description of the Invention]

[0001]

[Industrial Application] this invention relates to the method of inspecting the existence of the micro crack in a piezo-electric ceramic, without destroying the piezo-electric ceramic concerned.

[0002]

[Description of the Prior Art] Conventionally, as a method of detecting in un-destroying, the thing to depend on radioparency or the method of irradiating an ultrasonic wave is common, without destroying the ceramics concerned for internal defects, such as not only a piezo-electric ceramic but general ceramics.

[0003] The method of making an X-ray penetrate and detecting an internal state is a method of investigating an internal defect, by the degree to which an X-ray penetrates an inspected object using changing with the kinds, thickness, and densities of the analyte matter concerned, and measuring change of the penetrated X-ray intensity.

[0004] Investigating an internal defect is usually performed by using the reflection by the difference in the acoustic impedance which changes with kinds of analyte matter when putting in an inspected object underwater and on the other hand irradiating an ultrasonic wave as a method using an ultrasonic wave, or the difference in acoustic velocity, and measuring the amount of reflection and reflex time of an ultrasonic wave by the difference in the quality of the material in an inspected object, and the difference in a position.

[0005]

[Problem(s) to be Solved by the Invention] Each above-mentioned conventional un-destructive inspection method is unsuitable for the processing time being also comparatively long to the top which needs large-sized and expensive equipment, and carrying out extensive processing in it. Moreover, in order to have discriminated the very small defect from the acquired measurement picture, this needed to be expanded, and human being needed to judge visually, or image analysis by the computer etc. needed to be performed, and when it was any, there was also a fault that it was not suitable to automate and process in large quantities.

[0006] In detection of the defect in a piezo-electric ceramic, especially a fault such becomes with a very serious problem. Namely, since it is necessary to process a piezo-electric ceramic in large quantities and it moreover needs to obtain a reliable inspection result for a short time, extensive processing in a short time is difficult for it like the above-mentioned conventional method. And the possibility of the judgment error by an oversight or the difference between inspection implementation persons is large because of the defective discernment judging by visual senses, such as viewing and an image processing, and it is unsuitable as the inspection method of a piezo-electric ceramic by the method from which a reliable inspection result is not obtained.

[0007] this invention solves the above-mentioned conventional trouble, and aims at offering the un-destructive detection method of the micro crack of the piezoelectric device which can, quickly and highly precise moreover, inspect the internal defect of a

piezo-electric ceramic, i.e., the existence of a micro crack, by automatic judging.

[0008]

[Means for Solving the Problem] The un-destructive detection method of the micro crack of the piezoelectric device of a claim 1 In the resonance frequency of the piezoelectric device which vibrates with impression of police box-voltage, or the frequency band near the antiresonant frequency The fixed voltage to which frequency was gradually changed by fixed width of face is impressed to each of pressure-taking-ed ***** and a criteria piezoelectric device without a micro crack. The frequency characteristic of the impedance of each piezoelectric device and/or the frequency characteristic of the phase contrast (phase angle) of voltage and current are measured. When the curvilinear pattern in which the frequency characteristic concerned is shown is obtained, the curvilinear pattern of pressure-taking-ed ***** is compared with the curvilinear pattern of a criteria piezoelectric device and both curvilinear patterns differ, it is characterized by judging with a micro crack existing in the interior of this pressure-taking-ed *****.

[0009] The un-destructive detection method of the micro crack of the piezoelectric device of a claim 2 In the resonance frequency of the piezoelectric device which vibrates with impression of police box-voltage, or the frequency band near the antiresonant frequency The fixed voltage to which frequency was gradually changed by fixed width of face is impressed to pressure-taking-ed *****. The frequency characteristic of the phase contrast (phase angle) of this piezoelectric-device voltage and current is measured. The frequency band to frequency with the resonance frequency concerned about the pattern in which the curvature of the curve which shows the frequency characteristic concerned is shown, investigate the number of the peaks exceeding a certain threshold (tangent line), and higher 3 to 10% than a measurement start frequency to resonance frequency ("the 1st field" is called below.) It is a frequency band ("the 2nd field" is called below.) from 3 - 10% low frequency of the antiresonant frequency concerned to measurement end frequency from antiresonant frequency. It is a frequency band (a "staging area" is called below.) to 3 - 10% low frequency of the antiresonant frequency concerned from the frequency with the resonance frequency concerned higher 3 to 10% than resonance frequency which comes between this 1st field and 2nd field to antiresonant frequency. It sets. the aforementioned number of peaks in the 1st field and the 2nd field 1 or two pieces, In a staging area, the number of peaks of these criteria is characterized by judging with a micro crack existing about pressure-taking-ed ***** with the curvature pattern in which the different number of peaks is shown on the basis of the aforementioned number of peaks being zero piece.

[0010] Un-destructive detection method of the micro crack of the piezoelectric device of a claim 3 is characterized by calculating the curvature of the curvilinear pattern in which the frequency characteristic of this phase contrast (phase angle) is shown from the numeric value acquired by the moving average of each measured value of current and the phase contrast (phase angle) of voltage in the method of a claim 2.

[0011]

[Function] Since it can be judged automatically, the un-destructive detection method of the micro crack of the piezoelectric device of this invention can be judged in a short time, and to the top in which the formation of extensive processing is possible, since it is not the judgment by viewing, its inspection precision is remarkably high.

[0012] Hereafter, with reference to a drawing, the verifier by this invention is explained

in detail.

[0013] Drawing 1 is the diagram in which becoming criteria, namely, showing the frequency characteristic of the impedance of the normal disc-like piezoelectric device (normal element) which does not have a micro crack etc. in the interior, and current and the phase contrast (phase angle) of voltage. This resonance is primary resonance of breadth vibration of a disk. As shown in drawing 1, the frequency characteristic of an impedance has the minimal value and every one maximal value, respectively. The frequency which serves as resonance frequency (resonance point) and the maximum in the frequency from which an impedance serves as the minimum is called antiresonant frequency (antiresonating point). Although the resonance point and an antiresonating point will be uniquely decided if the size of an element and the quality of the material are decided, according to dispersion in a configuration, and dispersion of an element property, it usually changes. On the other hand, from resonance frequency, the phase angle is behind voltage in about 90 degrees (namely, -90 degrees) of current on low frequency, and progresses about 90 degrees (namely, +90 degrees) conversely between antiresonant frequency from resonance frequency, and returns from antiresonant frequency to the phase of about 90-degree delay on high frequency again. That is, it is only that the curve which shows the frequency characteristic near the resonance point of a phase angle has one mountain between the resonance point and an antiresonating point.

[0014] Drawing 2 is the diagram showing the frequency characteristic in the frequency band the primary resonance point of breadth vibration of the same disk as drawing 1 of the phase contrast (phase angle) of an impedance, and the current and voltage of the piezoelectric device used as criteria and the piezoelectric device (unusual element) which has a micro crack in the interior with the shape of isomorphism and this quality of the material - near the antiresonating point. As shown in drawing 2, the frequency characteristic of an impedance and a phase angle shows the form where it was confused very much, compared with the thing of drawing 1. That is, the curve which shows the frequency characteristic of an impedance has many the minimal value and the maximal value, and it is shown that the frequency characteristic of a phase angle has many mountains, and each frequency dependence of drawing 1 used as criteria differs greatly clearly, therefore abnormalities can be distinguished from this difference.

[0015] although the same judgment is possible even if the resonance used for such a judgment uses high order resonance in this invention -- change of an impedance, or change of a phase angle -- small -- a bird clapper -- moreover, since the exact judgment of mixing of unnecessary vibration etc. may not be able to be performed, it is desirable to use primary basic resonance

[0016] Moreover, although resonance frequency differs from the configuration of an element by the oscillation mode to be used, as for vibration used for a judgment, it is desirable at the same reason to use the oscillation mode to which vibration specified with a configuration becomes most clearly and large. For example, if it is the element of a disk configuration and is breadth vibration of a disk and the element of a cylindrical configuration, the longitudinal oscillation of a rod etc. will be used.

[0017] Moreover, although the resonance point and the antiresonating point to need may measure measuring range in any range as long as only the lot is contained in measuring range, usually, a measurement start frequency is made into 3 - 10% low frequency of the resonance frequency concerned from resonance frequency from the field of measurement

efficiency, and, as for measurement end frequency, it is more desirable than antiresonant frequency to consider as the frequency of the antiresonant frequency concerned high 3 to 10%.

[0018] In order to measure the impedance of a piezoelectric device, and the frequency characteristic of a phase angle, it is usually common that an impedance analyzer is used. Although it is desirable when making it change by finer width of face as width of face to which fixed frequency is changed gradually using this equipment obtains a smooth curve, it is practical to make it usually change from the field of restrictions of measurement efficiency or measuring device specification by width of face of 0.05-1kHz. Moreover, as for the size of the voltage impressed, 1V are usually used.

[0019] In addition to this, the method of this invention can be similarly enforced, even if it uses admittance. However, contrary to [the frequency characteristic of admittance / since admittance is the inverse number of an impedance] the above, although admittance serves as the maximum by the resonance point and it is different only from the minimum and a bird clapper at an antiresonating point, if the pattern used as criteria is compared similarly, distinction is possible.

[0020] Next, how to carry out this invention by automatic judging is explained in detail.

[0021] When using an impedance analyzer, the required shell which carries out digital processing of the signal, and the frequency to measure are changed to step WAIZU, measure the impedance of the piezoelectric device in each frequency, and a phase angle, respectively, and are made to increase them one by one to the target frequency. That is, it is the frequency which starts measurement x_0 It carries out and Δx , then the i -th frequency $x(i)$ can be expressed with $x(i) = x_0 + (i-1) \Delta x$ and Δx in the increment of frequency. Moreover, only $y(i)$, then the number corresponding to [as measured value ($x(i)$ $y(i)$)] the increment of a test-frequency band and frequency in the data of combination are obtained in the measured value of the phase angle in each $x(i)$. Thus, since the data of obtained $y(i)$ contain an observation noise, in order to remove the influence of this observation noise, moving-average processing as shown below is performed. the moving average deviation obtained to each $y(i)$ -- $y'(i)$, then $y'(i)$ $y'(i) = \{y(i) + y(i+1) + \dots + y(i+L-1)\} / L$ -- it is calculable with a formula Although it is suitably decided by several L value of data used for the moving average according to a situation at this time so that the judgment and automatic judging by human being may be well in agreement, in this example, 5-7 pieces are usually used preferably 3-7 pieces. If there are few these data than three pieces, influence of an observation noise cannot be removed, but the amount in which a normal element is judged to be an unusual element increases, and the fall of the yield is caused. However, it is a safe side in this case, and is satisfactory about the field of removal of an unusual element. Moreover, if there are more data than five pieces, a percentage of correct answers will become about 100%. On the other hand, the case where an unusual article will be conversely judged to be a normal article if there are more data than seven pieces occurs, and it is not desirable.

[0022] Next, the curvature of each portion is calculated to the curve obtained by this moving average deviation. continuing -- three -- a point -- namely, -- $i=j$ -- -- one -- j -- j -- + -- one ($j \geq 2$) -- setting -- $\{x(j-1) \ y(j-1)\}$ -- $\{x(j) \ y(j)\}$ -- $\{x(j+1) \ y(j+1)\}$ -- three -- a point -- receiving -- That is, $(X-a)$, inverse number $1/r$ of the radius r of a circle expressed with $2+(Y-b)^2 = r^2$ are the curvatures of the curve made by these three points. It is as follows when it asks for curvature $\rho(j)$

from this formula.

[0023]

$$a = \{(x_1 - x_2)(y_1 - y_2) - (x_2 - x_3)(y_1 - y_2)\}$$

$$/ 2 \{(x_1 - x_2)(y_1 - y_3) - (x_1 - x_3)(y_1 - y_3)\}$$

$$b = \{(x_2 - x_3) - 2a(x_1 - x_2)\} / 2(y_1 - y_2)$$

$$\rho(j) = 1/r = 1/\sqrt{(x_2 - a)^2 + (y_2 - b)^2}$$

However, $x_1 = x(j-1)$, $x_2 = x(j)$, $x_3 = x(j+1)$

$y_1 = y(j-1)$ and $y_2 = y(j)$ -- it is ' j ' $y_3 = y(j+1)$

[0024] Next ($x(j)$, $\rho(j)$), it asks for the number of the peaks of the curvilinear pattern showing the curvature of the obtained curve. It asks for the number of the peaks of Batang which divides a test-frequency band into two or more next fields, and shows the curvature in each field at this time.

[0025] After the 1st field until the phase angle before and behind resonance frequency is overdue from a measurement start frequency, it changes from a phase to a leading phase and it is stabilized in a leading phase, and the phase angle before and behind antiresonant frequency return from a leading phase to a delay phase again and are fundamentally stabilized in the original delay phase by two or more fields, they are with the staging area of the frequency band between the 2nd field to measurement end frequency, and these [1st] and the 2nd field. Specifically The frequency band from a measurement start frequency to a frequency band with the resonance frequency concerned higher 3 to 10% than resonance frequency (the 1st field), Rather than antiresonant frequency, the frequency band from 3 - 10% low frequency of the antiresonant frequency concerned to measurement end frequency (the 2nd field), And it is divided roughly into three fields of the frequency band (staging area) to low frequency 3 to 10% rather than the antiresonant frequency concerned from antiresonant frequency from the frequency with the resonance frequency concerned higher 3 to 10% than resonance frequency which corresponds among these two.

[0026] You may make the above-mentioned staging area divide still more finely. If there is much this number of partitions, improvement in judgment precision is not only expected, but abnormalities can acquire in which frequency band it has generated mostly, and information.

[0027] However, the 1st field of the above and the 2nd field are indispensable, and it does not need to prepare a staging area. For example, a staging area may be lost and the whole may be divided into two, the 1st and the 2nd. It is suitably determined from the need on data processing after measurement whether to divide a staging area still more finely or omit a staging area.

[0028] The number of peaks counts and searches for only the peak beyond a certain threshold (tangent line). The number of the peaks beyond the threshold (tangent line) serves as criteria, namely, when it is a normal element without a micro crack etc., in the 1st and 2nd fields, it has 1 or two peaks, and does not have a peak in a staging area. When it has the number of peaks other than this, it is judged as an unusual element that there is a crack etc.

[0029] The average of the value of $\rho(j)$ obtained in this invention although a certain threshold was suitably decided on here according to the situation so that several L, a judgment according to human being similarly, and automatic judging of the data used for the moving average might be well in agreement, i.e., [0030]

[Equation 1]

[0031] It is suitable to set [of the value come out of and calculated] 70 - 100% to tangent line preferably 50 to 100%. When the value of this average of $\rho(i)$ smaller than 50% is set to tangent line, the fall of judgment precision is caused that it is easy to gather the influence of the noise of observation data. However, since a normal element is only judged in this case to be an unusual element, there is no problem in removal of an unusual element on a safe side. tangent line, then a percentage of correct answers become about 100% about the larger value of the average of $\rho(i)$ than 70%. On the other hand, if tangent line is larger than 100% of the average of $\rho(i)$, an unusual article is judged to be a normal article and is not conversely desirable.

[0032]

[Example] Next, a concrete example is given and this invention is explained more to a detail.

[0033] The micro crack was detected using the piezoelectric device which makes the oxide of Pb, Zr, and Ti a principal component by 0.5mm in example 1 diameter of 17mm, and thickness. The electrode printed the silver paste at 600 degrees C after printing and dryness, impressed and polarized 1000V at 70 degrees C, and made them the piezo electric crystal so that electrode section might serve as a diameter of 15mm. Moreover, the frequency dependence of an element was measured using the impedance analyzer (YHP4192A). A test frequency is 109kHz to 146kHz, and was measured at the 0.3kHz step. The impedance of an element and the frequency characteristic of a phase angle which were obtained are shown in drawing 1 . Although the resonance and antiresonant frequency which were measured changed a little with each elements, the element which are 111-115kHz (mode of 113kHz) and 139-143kHz (mode of 141kHz), respectively, and has the resonance point and an antiresonating point out of range [this frequency] was excepted. Drawing 1 is the example of measurement of a normal element without a micro crack etc. used as criteria, and it is the example of measurement of the unusual element considered that drawing 2 has a micro crack etc. The example of measurement of the element which put the crack into drawing 3 intentionally is shown. Drawing 2 and drawing 3 show the pattern of the same frequency characteristic, and it is shown that the crack is contained into the unusual element of drawing 2 .

[0034] It is made this appearance in Table 1, and the result which measured the bending strength of the unusual element judged as there being a micro crack and the element judged that are normal is shown. Bending strength put the element after measuring the frequency characteristic of an impedance and a phase angle on the three-point flexural strength testing machine, bent the center section of the element, and calculated the value of the load at that time as bending strength. It has only the intensity of the abbreviation half of the element judged that is [the unusual element judged to be those with a micro crack] normal, but the validity of this detection method is shown so that clearly from Table 1.

[0035]

[Table 1]

[0036] In order are automatic and to perform the judgment performed in the example 2 example 1, based on the algorithm mentioned above, the program was created and

measurement and an automatic judging of an impedance and a phase angle were performed. Frequency was changed at 110-150kHz and the 0.03kHz step using the element of the same configuration where it used for the example 1 as measurement conditions, and the quality of the material, using an impedance / gain phase analyzer (YHP4194A) as a measuring device.

[0037] The number of data used for the moving average was made into $L = 5$ pieces, and the threshold (tangent line) was made into all the averages (namely, 100% of the average of ρ) of curvature, and all measurement fields were divided into four as follows.

[0038]

the 1st field : 110-120kHz 1st staging-area: -- 120-130kHz 2nd staging-area: -- the 130-140kHz 2nd field : 140-150kHz resonance frequency and antiresonant frequency (mode) were 114,144kHz, respectively. The pattern in which the frequency characteristic of the curvature calculated from the frequency characteristic of the phase angle which showed the original pattern in which the frequency characteristic of the impedance measured to drawing 4 and a phase angle is shown to drawing 5 at drawing 4 is shown is shown, respectively. As for the example shown in drawing 4, the portion of the arrow A in drawing is cratered slightly. Although it is a very small change of the grade which can be judged at last by human being's eyes, if it carries out by the automatic diagnosis concerning this invention, as shown in the arrow B in drawing 5, this crater will serve as a clear peak and will be detected easily.

[0039] The number of peaks with which the criteria judge that are normal exceeded tangent line like the above-mentioned is [1 or two pieces, zero piece, zero piece, 1, or] two, respectively to each field of the 1st, the 1st middle, the 2nd middle, and the 2nd field.

[0040] Next, the result to which the element which judged in the example 1, i.e., human being, carried out the automatic judging of 100 elements which judged that the pattern of the frequency characteristic is unusual with 100 elements compared with the pattern of the normal element used as criteria, judged, and judged that are normal is shown in Tables 2 and 3.

[0041] In addition, the judgment of * corresponds among Table 2 and 3.

[0042]

[Table 2]

[0043]

[Table 3]

[0044] A percentage of correct answers is 99% with a normal element, with the unusual element, it turns out that it is 100%, and the validity of this automatic judging is shown so that clearly from Tables 2 and 3.

[0045] However, when it judged each automatically 100 elements human being judged that are normal/unusual by this method to be a percentage of correct answers and a judgment of human being was corrected, the time of a judgment and an automatic judging of human being being in agreement was considered as the correct answer.

[0046] The normality of 100 sheets each and the unusual element which were used in the three to example 5 example 2 are used. Set to $L = 2$ (example 3), and 4 (example 4) and 8 (example 5) the number of the data used for the moving average among the parameters used when performing an automatic judging, and threshold tangent line is made into 100% of all the averages of curvature. Other parameters show the result which made it

the same as an example 2, and performed the automatic judging in Table 4.

[0047] The normality of 100 sheets each and the unusual element which were used in the six to example 8 example 2 are used. Set to $L=5$ the number of the data used for the moving average among the parameters used when performing an automatic judging, and threshold tangent line is made into 110 (example 6) of all the averages of curvature, 70 (example 7), and 50(example 8) %. Other parameters show the result which made it the same as an example 2, and performed the automatic judging in Table 4.

[0048] In addition, in accordance with the result of an example 2, it describes in Table 4.

[0049]

[Table 4]

[0050] It is clearer than Table 4 for 3-7, especially 5-7 that L's 70 - 100% of especially tangent line is [of all the averages of curvature] desirable 50 to 100%.

[0051]

[Effect of the Invention] According to the un-destructive detection method of the micro crack of the piezoelectric device of this invention, the existence of the micro crack of a piezoelectric device can be judged automatically easily [in a short time] and with high precision efficient moreover, and it is supposed that it is possible to carry out extensive processing easily as explained in full detail above.

[0052] Especially, according to the method of a claim 2 and the division claim 3, an automatic judging can be carried out easily and an accurate result can be obtained certainly.

[Translation done.]